

УДК 621.575

Теплоиспользующая холодильная установка транспортного средства для хранения и перевозки продуктов питания

Савчук Н.А., jump9207@mail.ru

Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. Захарьевская улица, 22, Санкт-Петербург, 191123

Канд. техн. наук, доц. Коченков Н.В., kochenkov63@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Актуальность проблемы поставленной в статье состоит в том, чтобы повысить общий КПД автомобильного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с его холодильной рефрижераторной установкой на 3...7% за счет использования бросовой (теплоты, выбрасываемой с отходящими газами) для сжатия рабочего тела (например, фреона) для его дальнейшего полезного применения в холодильной установке. Показана принципиальная возможность использования в качестве устройств сжатия рабочего тела автомобильных рефрижераторов патентоспособных теплоиспользующих компрессоров, достоинством которых является возможность утилизации теплоты отходящих газов ДВС самого транспортного средства. Возможность утилизации теплоты отходящих газов ДВС автомобилей–рефрижераторов, и особенно дизельных у которых отходящие газы имеют сравнительно высокую температуру около 450...600°С, существенно повысит эффективность холодильной установки в целом для транспортного средства, и позволит снизить расход топлива.

Ключевые слова: ДВС, автомобиль-рефрижератор, холодильная установка, компрессор, теплоиспользующий компрессор, рабочее тело, степень сжатия.

The heat using refrigeration unit of the vehicle for storage And transportation of food

Savchuk N.A., jump9207@mail.ru

*Military Institute (Engineering-Technology) Military Academy
Material-technical support named General of the Army A.V. Khruleva
Zakharievskaya Street , 22, St. Petersburg , 191123*

Ph.D. Kochenkov N.V., kochenkov63@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

Relevance of the problem put in article consists in increasing the general efficiency of the automobile internal combustion engine (ICE) with its refrigeration unit on 3 ... 7% due to use waste (the warmth which is thrown out with flue gases) for compression of a working body (for example, freon) for its further useful application in the refrigeration unit. Basic possibility of use as devices of compression of a working body of automobile cold storage trucks of the patentable heat using compressors which advantage is possibility of utilization of warmth of the DVS flue gases of the vehicle is shown. Possibility of utilization of warmth of the DVS flue gases of cars cold storage trucks, and especially diesel at which flue gases have rather high temperature about 450 ... 600°С, will significantly increase efficiency of the refrigeration unit in general for the vehicle, and to allow to cut fuel consumption.

Keywords: DVS, the car cold storage truck, the refrigeration unit, the compressor heat using the compressor, a working body, a compression ratio.

В перевозке продуктов питания, проходящей по простейшей логистической цепочке: «производитель – продавец» обычно имеются промежуточные звенья: «переработчик», «перекупщик (оптовик)». Географические, экономические, технологические, политические, законодательные факторы в реальной бизнес-среде не позволяют сократить её до минимума. Лишние звенья – лишнее время и, как следствие, возрастание риска материальных потерь. И при этом медлить со своевременной доставкой при перевозке продуктов никак нельзя, так как они могут прийти в негодность. Перевозка продуктов питания – это одна из динамично развивающихся услуг в области грузоперевозок. Для этого используют в основном (для доставки конечному потребителю) автомобильные транспортные средства с встроенными в них холодильными (рефрижераторными) установками.

Наибольшее распространение получили автомобильные холодильные установки транспортных средств для перевозки продуктов питания с приводом от двигателя автомобиля, сплит-системы, компрессор которой расположен на двигателе транспортного средства, а расширительное устройство в изо-термическом кузове. (рис.1).



Рис.1. Модели автомобильных холодильных установок с приводом от двигателя автомобиля [1]

Принцип работы автомобильных холодильных установок достаточно прост и основан на процессе поглощения или выделения тепла. В замкнутой системе под давлением циркулирует хладагент (фреон). При помощи компрессора газообразный фреон с низким давлением (около 2 атм.) сжимается до 15...18 атмосфер и через внутренний клапан направляется в конденсатор. Под давлением температура хладагента увеличивается. В конденсаторе фреон отдает тепло во внешнюю среду и конденсируется, то есть превращается в жидкость. Далее жидкий фреон попадает в ресивер-влажеоотделитель, который является резервуаром для жидкого хладагента. После него фреон попадает в терморегулирующий вентиль, где за счет резкого снижения давления происходит кипение и испарение жидкости при температуре порядка -35°C. Процесс испарения жидкого хладагента в испарителе сопровождается поглощением тепла, которое отбирается от проходящего через испаритель воздушного потока. Воздух, находящийся в фургоне, продувается через испаритель и охлаждается. Влага, содержащаяся в воздухе, конденсируется на испарителе, либо сливается по дренажным трубкам во внешнюю среду. Далее газообразный хладагент опять попадает в компрессор, где снова сжимается и нагревается. С этого момента цикл повторяется [2]. На привод компрессора автомобильных холодильных установок затрачивается отбираемая от двигателя автомобиля мощность порядка нескольких киловатт, что увеличивает расход топлива и расходы на эксплуатацию

При этом на КПД двигателя автомобиля приходится около 20-30% (полезная мощность от теплоты сгораемого топлива), а 70...80% теплоты сгораемого топлива безвозвратно отводится от ДВС автомобиля его системой охлаждения и с выхлопными газами.

Использование на привод компрессора автомобильных холодильных установок теплоиспользующих компрессоров или теплоиспользующих приводов позволит сэкономить расходы на эксплуатацию, в частности на расход топлива.

Теплота выхлопных (отходящих газов ДВС) используется в известном «Автомобильном рефрижераторе» [3] с холодильным агрегатом абсорбционного типа – абсорбционной холодильной машиной (АХМ). В данной разработке снижены общие энергозатраты автомобильного рефрижератора на под-

держание заданных температурных параметров в изотермическом кузове автомобиля, так как термосифоны холодильной установки располагаются непосредственно между выхлопными отверстиями двигателя и выхлопной трубой. В этом месте температура выхлопных газов имеет температуру не ниже 350°C , а в дизельных двигателях температура отходящих газов может достигать $450\text{...}600^{\circ}\text{C}$.

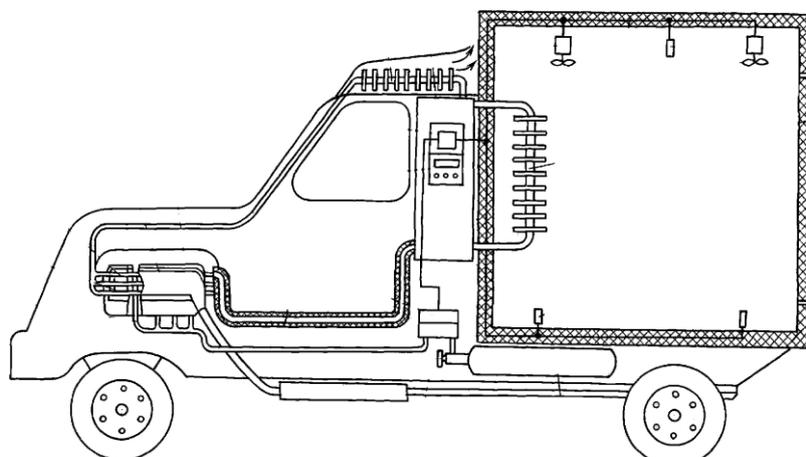


Рис.2. Схема автомобильного рефрижератора [3]

По сравнению с компрессионными холодильниками, АХМ обладают некоторыми преимуществами: минимальный уровень шума; экологически безопасны, так как хладагентом является обычная вода; могут утилизировать бросовую тепловую энергию (более 200°C); длительный срок службы; пожаро- и взрывобезопасны.

Однако основным недостатком АХМ является очень низкий КПД. Так тепловой коэффициент (отношение подведенной тепловой энергии к полученному холоду), равен $0,65\text{...}0,8$ для одноступенчатых машин, и $1\text{...}1,42$ для двухступенчатых машин. Кроме того, они более громоздки, материалоемки, и более дорогие, чем компрессионные холодильники. Поэтому применение автомобильных рефрижераторов с АХМ имеет ограниченный характер.

В тоже время КПД, так называемых устройств «теплоиспользующих компрессоров» (ТК), в которых подводимая энергия в виде теплоты преобразуется в энергию сжатого газа (или рабочего тела, той же компрессионной холодильной установки), зависящим только от перепада температур горячего и холодного источников (КПД Карно).

В результате этого представляется возможность полезного использования теплоты отходящих газов ДВС автомобиля, для компримирования (сжатия) рабочего тела холодильной установки автомобильного рефрижератора. Так около $10\text{...}45\%$ теплоты (в зависимости от температуры), которая отводится с выхлопными газами автомобиля, можно преобразовать с КПД около $5\text{...}20\%$ в энергию сжатого газа (рабочего тела холодильной установки).

В качестве одного из вариантов такого устройства можно привести «Теплоиспользующий компрессор» по патенту РФ: RU 2480623 C1 от 27.04.2013, МПК F04B19/24, авторы Соколов В.С., Савчук Н.А., Курлапов В.Д., Борисов А.А. и Савчук А.Д. - [4].

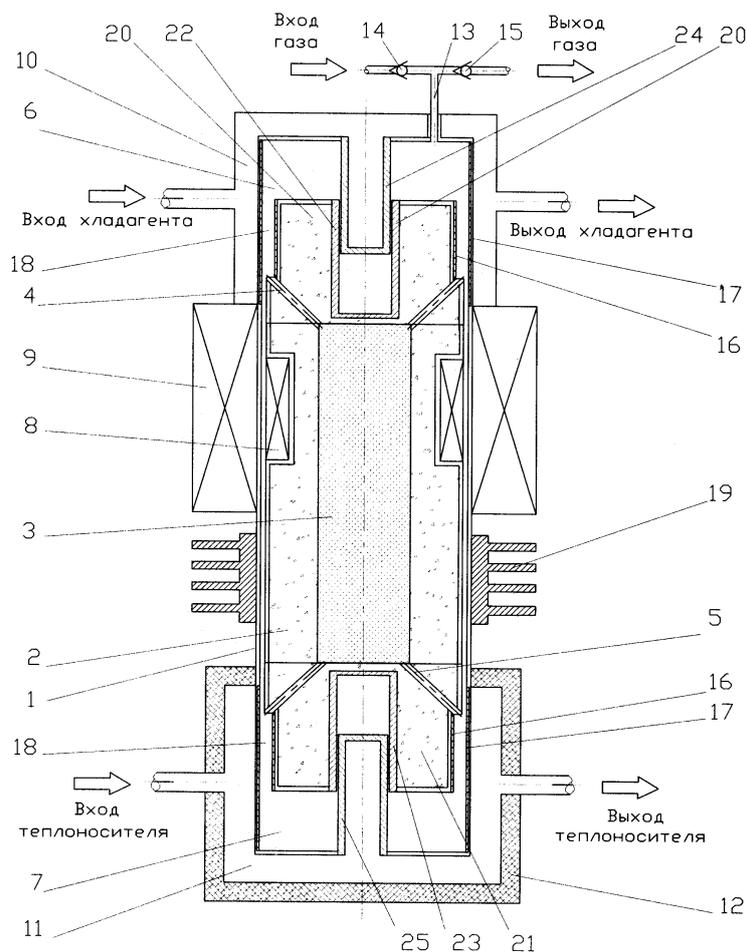


Рис. 3. Теплоиспользующий компрессор (ТК) по патенту

ТК [4] содержит цилиндр 1, вытеснитель 2 со встроенным генератором 3 и радиально наклоненными отверстиями 4 и 5 для соединения регенератора соответственно с холодной 6 и горячей 7 полостями цилиндра 1. Вытеснитель 2 приводится в действие электроприводом с ротором 8, расположенным на внешней стороне вытеснителя 2, и расположенным на цилиндре 1 статором 9. На внешних приторцевых участках вытеснителя 2 находятся резьбовые участки 16, а на внутренней поверхности приторцевых участков цилиндра 1 - резьбовые участки 17, с образованием кольцевых зазоров 18. Цилиндр 1 содержит теплообменник теплоносителя 11 с теплоизоляцией 12, теплообменник хладагента 10, газовую магистраль 13 с впускным 14 и выпускным 15 клапанами, ребристый теплообменник 19. Пневматические пружины динамического «подпружинивания» вытеснителя 2 выполнены в виде установленных в его торцевых заглушках 20 и 21 плунжерных цилиндров 22 и 23, ответные плунжерным поршням 24 и 25, которые жестко установлены внутри холодной 6 и горячей 7 полостей на крышках цилиндра 1 теплоиспользующего компрессора, причем плунжерные поршни 24 и 25 выполнены полыми и открыты соответственно со стороны полостей холодной 6 и горячей 7 для доступа холодного и горячего теплоносителя. Рабочим телом пневматических пружин является перекачиваемый теплоиспользующим компрессором газ. Повышается эффективность устройства путем увеличения поверхностей теплообмена в холодной и горячей полостях.

Работает ТК по патенту [4] следующим образом: в установившемся режиме вытеснитель 2 движется возвратно-поступательно по цилиндру 1 под действием усилий газа (рабочего тела) между плунжерными поршнями 24 и 25, входящими в ответные плунжерные цилиндры 22 и 23. То есть вытеснитель 2 совершает автоколебательное движение, поддерживаемое электроприводом, состоящим из статора 9 и ротора 8. При этом мощность линейного электродвигателя расходуется только на поддержание автоколебательного возвратно-поступательного движения вытеснителя, то есть на преодоление сил трения и гидравлического сопротивления. При движении вытеснителя 2 в сторону горячей полости 7 горя-

чий газ проходит по зазору 18 (горячей полости) отверстия 5, регенератор 3, сообщая ему недостающее тепло недорекуперации, охлаждается и, проходя через отверстия 4 и зазор 18 (холодной полости), дополнительно подохлаждаясь, попадает в полость 6. По мере охлаждения газа, давление во всем объеме корпуса 1 падает и становится меньше, чем на входе в компрессор, в результате чего открывается впускной клапан 14, и в теплоиспользующий компрессор поступает очередная порция газа на сжатие. При движении вытеснителя 2 в сторону холодной полости 6 холодный газ проходит по зазору 18 (холодной полости) отверстия 4, регенератор 3 нагревается в нем и, проходя через отверстия 5 и зазор 18 (горячей полости), дополнительно подогреваясь, попадает в горячую полость 7. По мере нагрева газа давление во всем объеме цилиндра 1 растет и становится больше чем на входе в компрессор, в результате чего открывается выпускной клапан 15, и из теплоиспользующего компрессора поступает очередная порция сжатого газа потребителю. После начала движения вытеснителя 2 в сторону холодной полости 6 весь цикл повторяется. Ребристый теплообменник 21 предотвращает чрезмерный нагрев статора 9 теплоносителя, поступающего теплопроводностью от теплообменника вдоль стенки корпуса 1 и от горячего газа, проходящего по зазору 18. Теплота к газу (рабочему телу) от теплоносителя в горячей полости 7 подводится через его торцевую стенку, цилиндрический резьбовой участок 17, и дополнительно через цилиндрические стенки полого цилиндра 25. Из холодной полости 6 теплота к хладагенту отводится также через его торцевую стенку, цилиндрический резьбовой участок 17, и дополнительно через цилиндрические стенки полого цилиндра 24. Использование для теплообмена цилиндрических стенок полых плунжерных цилиндров позволит на 10÷20% увеличить поверхность холодной и горячей полостей, что повысит эффективность теплоиспользующего компрессора.

Для проектирования ТК необходимо провести его оптимизацию по КПД от степени сжатия.

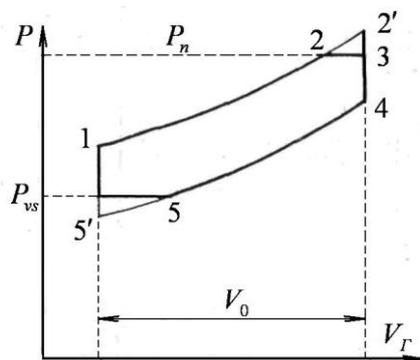


Рис.4. Индикаторная диаграмма горячей полости ступени ТК [4]

В идеальном случае, подведенная к горячей полости ступени ТК теплота Q_g , равна работе за цикл [5]: $Q_g = L$.

Термический (η_t) и эксергетический (η_e) коэффициенты полезного действия будут соответственно равны

$$\eta_t = \frac{MRT_0}{Q_g} \ln \frac{P_n}{P_{vs}} \quad \eta_e = \frac{\tau}{\tau - 1} \eta_t,$$

где M — масса газа в ступени ТК; R — универсальная газовая постоянная; T_0 — температура окружающей среды; P_n — давление нагнетания; P_{vs} — давление всасывания; $\tau = \frac{T_g}{T_x}$ — температура горячего газа нормирована на температуру холодного газа.

Результаты проведенной оптимизации термического (η_t) и эксергетического (η_e) коэффициентов полезного действия приведены на графиках ниже. При этом температура газа в холодной полости ТК равна 300К, а в горячей полости ТК: 1 — 500К, 2 — 700К, 3 — 900К, 4 — 1000К.

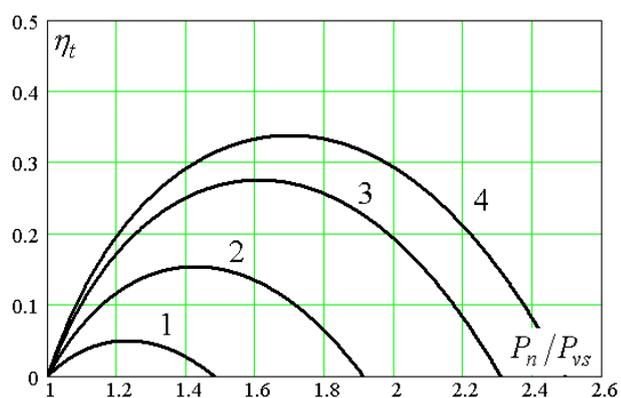


Рис. 5. Термический КПД ТК – (η_t)

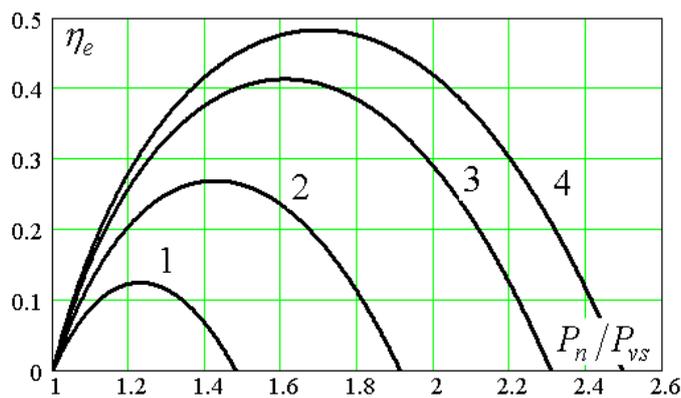


Рис. 6. Эксергетический КПД ТК (η_e)

Как видно из графиков (рис 5,6), оптимальный КПД теплоиспользующего компрессора находится в пределах 1,2...2,1 и смещается в большую сторону при увеличении температуры в горячей полости ТК. При температуре в горячей полости ТК от 700К до 900К (427¼627°С), например, при использовании для компримирования газа теплоты отходящих газов двигателя внутреннего сгорания, степень повышения давления в одной ступени ТК можно принять $\pi_k^{ST} = P_n/P_{vs} = 1,6$. При этом давление, получаемое на выходе из многоступенчатого теплоиспользующего компрессора (МТК) равно:

$$\pi_k^{MTK} = (\pi_k^{ST})^N,$$

где N – число ступеней МТК.

В таблице 1 приведены расчетные значения давлений, получаемые в МТК в зависимости от числа ступеней и начальном давлении на входе в МТК, что может быть при использовании МТК как компрессора для автомобильных холодильных установок.

Расчеты значения давления в МТК

Таблица 1

P_{vs} , атм	Число ступеней МТК, шт. при $\pi_k^{ST} = P_n/P_{vs} = 1,6$					
	1	2	3	4	5	6
1	1,6	2,56	4,1	6,55	10,49	16,78
2	3,2	5,12	8,2	13,11	20,97	33,55

Из графиков КПД, а также из таблицы видно, что для автомобильного рефрижератора целесообразно использовать 5-ти ступенчатый МТК с начальным давлением рабочего тела в 2 атмосферы и с 6-ти ступенчатый МТК с начальным давлением рабочего тела в 1 атмосферу. При оптимизации рассматривалась ступень МТК работающая только для сжатия газа без фазового перехода.

Применение одно или многоступенчатого теплоиспользующего компрессора, работающего от бросовой теплоты отходящих газов двигателя внутреннего сгорания, для автомобильных холодильных установок позволит повысить эффективность теплоиспользующей холодильной установки транспортного средства для хранения и перевозки продуктов.

В настоящей статье показана принципиальная возможность использования в качестве устройств сжатия рабочего тела автомобильных рефрижераторов патентоспособных теплоиспользующих компрессоров, достоинством которых является возможность утилизации теплоты отходящих газов двигателей внутреннего сгорания, самого транспортного средства – автомобиля, что было представлено в работах автора [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Особенностью теплоиспользующих компрессоров является высокий КПД преобразования бросо-

вой теплоты отходящих газов двигателя автомобиля в энергию давления рабочего тела холодильной установки автомобильного рефрижератора.

Разработки - аналоги теплоиспользующих компрессоров неоднократно экспонировались на Российских и международных выставках и занимали призовые места [6, 8, 9, 10, 12, 13].



Рис.7. Награды международных Салонов промышленной собственности

Список литературы

1. Патент РФ: RU 2320500 C1 от 27.03.2007 года, МПК⁸ В60P3/20, В60Н1/32, F25B27/02, Автомобильный рефрижератор, автор Рыбкин А.В.
2. Патент РФ: RU 2480623 C1 от 27.04.2013, МПК F04B19/24, авторы Соколов В.С., Савчук Н.А., Курлапов В.Д., Борисов А.А. и Савчук А.Д.
3. *Гороховский Г.А., Лозовой А.И., Бахнев В.Г., Мелехин Ю.П.* Свободнопоршневой термокомпрессор, Криогенные машины: Меж-вузовский сборник, Выпуск 2, Новосибирский инженерно-строительный институт имени В.В.Куйбышева, Новосибирск 1978г., с. 23-41.
4. Каталог X Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» класс 11- М.: ООО «Центр содействия развития изобретательства и рационализации ВОИР», 2007.-157-158с.
5. *Савчук А.Д., Савчук В.А., Савчук Н.А.*, Теплоиспользующие компрессоры с регенерацией энергии движения вытеснителей. Инновационная деятельность в Вооруженных силах Российской Федерации: Труды всероссийской научной-практической конференции 20-21 ноября 2008 года, Санкт-Петербург. СПб.: 2008., 397с.
6. Холодильные машины. учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Техника и физика низких температур" / [Бараненко А. В. и др.] ; под общ. ред. Л. С. Тимофеевского. Санкт-Петербург, 2006. Сер. Учебник для вузов (Изд. 2-е, перераб. и доп.)
7. Каталог XI Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» класс 11- М.: ООО «Центр содействия развития изобретательства и рационализации ВОИР», 2008.- 203-204; 209с.
8. Каталог XII Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» класс 11- М.: ООО «Центр содействия развития изобретательства и рационализации ВОИР», 2009.- 224-225; 227-228с.
9. VI международный салон изобретений и новых технологий «Новое время» 22-24 сентября 2010 года, Севастополь, Украина.

10. Савчук А.Д., Савчук В.А., Савчук Н.А., Вытеснители-регенераторы теплоиспользующих компрессоров. Инновационная деятельность в Вооруженных силах Российской Федерации: Труды всероссийской научной-практической конференции 25-26 ноября 2010 года, Санкт-Петербург. СПб.: 2010. 389 с.

11. Каталог XV Московского международного Салона изобретений и инновационных технологий «Архимед» класс 22- М.: ООО «Центр содействия развития изобретательства и рационализации ВОИР», 2012.- 14 с.

12. <http://archimedes.ru>

13. <http://www.thermal-master.ru/>

14. <http://mirtransporta.ru/specialtruck/832-hraniteli-holodarefrizheratory.html>

Referenses

1. Patent RF: RU 2320500 S1 ot 27.03.2007 goda, MPK8 B60P3/20, B60H1/32, F25B27/02, Avtomobil'nyi refrizherator, avtor Rybkin A.V.

2. Patent RF: RU 2480623 C1 ot 27.04.2013, MPK F04B19/24, avtory Sokolov V.S., Savchuk N.A., Kur-lapov V.D., Borisov A.A. i Savchuk A.D.

3. Gorokhovskii G.A., Lozovoi A.I., Bakhnev V.G., Melekhin Yu.P. Svobodnoporshnevoi termokompres-sor, Kriogennye mashiny: Mezh-vuzovskii sbornik, Vypusk 2, Novosibirskii inzhenerno-stroitel'nyi institut imeni V.V.Kuibysheva, Novosibirsk 1978g., s. 23-41.

4. Katalog Kh Moskovskogo mezhdunarodnogo Salona izobretanii i innovatsionnykh tekhnologii «Arkhimed» klass 11- М.: ООО «Tsentr sodeistviya razvitiya izobretatel'stva i ratsionalizatsii VO-IR», 2007.-157-158s.

5. Savchuk A.D., Savchuk V.A., Savchuk N.A., Teploispol'zuyushchie kompressory s regeneratsiei energii dvizheniya vytesnitelei. Innovatsionnaya deyatel'nost' v Vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii: Trudy vsearmeiskoi nauchnoi-prakticheskoi konferentsii 20-21 noyabrya 2008 goda, Sankt-Peterburg. SPb.: 2008., 397s.

6. Kholodil'nye mashiny. ucheb. dlya studentov vuzov, obuchayushchikhsya po spetsial'nosti "Tekhnika i fizika nizkikh temperatur" / [Baranenko A. V. i dr.] ; pod obshch. red. L. S. Timofeevskogo. Sankt-Peterburg, 2006. Ser. Uchebnik dlya vuzov (Izd. 2-e, pererab. i dop.)

7. Katalog KhI Moskovskogo mezhdunarodnogo Salona izobretanii i innovatsionnykh tekhnologii «Arkhimed» klass 11- М.: ООО «Tsentr sodeistviya razvitiya izobretatel'stva i ratsionalizatsii VOIR», 2008.-203-204; 209s.

8. Katalog KhII Moskovskogo mezhdunarodnogo Salona izobretanii i innovatsionnykh tekhnologii «Arkhimed» klass 11- М.: ООО «Tsentr sodeistviya razvitiya izobretatel'stva i ratsionalizatsii VOIR», 2009.-224-225; 227-228s.

9. VI mezhdunarodnyi salon izobretanii i novykh tekhnologii «Novoe vremya» 22-24 sentyabrya 2010 goda, Sevastopol', Ukraina.

10. Savchuk A.D., Savchuk V.A., Savchuk N.A., Vytesnители-регенераторы теплоиспользующих компрессоров. Innovatsionnaya deyatel'nost' v Vooruzhennykh silakh Rossiiskoi Federatsii: Trudy vsearmeiskoi nauchnoi-prakticheskoi konferentsii 25-26 noyabrya 2010 goda, Sankt-Peterburg. SPb.: 2010. 389 s.

11. Каталог KhV Moskovskogo mezhdunarodnogo Salona izobretanii i innovatsionnykh tekhnologii «Arkhimed» klass 22- М.: ООО «Tsentr sodeistviya razvitiya izobretatel'stva i ratsionalizatsii VOIR», 2012.-14 с.

12. <http://archimedes.ru>

13. <http://www.thermal-master.ru/>

14. <http://mirtransporta.ru/specialtruck/832-hraniteli-holodarefrizheratory.html>